

減圧沸騰による液体の微粒化に関する研究

著者	李 忠 遠
号	864
発行年	1981
URL	http://hdl.handle.net/10097/9600

氏 名	LEE 李	CHOONG 忠	WON 遠
授 与 学 位	工 学 博 士		
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 3 月 25 日		
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項		
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科		
	(博 士 課 程) 精 密 工 学 専 攻		
学 位 論 文 題 目	減 圧 沸 騰 に よ る 液 体 の 微 粒 化 に 関 す る 研 究		
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 永 井 伸 樹		
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 永 井 伸 樹	東 北 大 学 教 授 戸 部 俊 美	
	東 北 大 学 教 授 武 山 斌 郎	東 北 大 学 教 授 箱 守 京 次 郎	

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

ある系内に高温液体をおきその系の圧力を高温液体の温度に対する飽和圧力以下に急に下げると爆発的な沸騰が起こる。液体自身が自由表面を持つ場合には、沸騰によって液体の自由表面が乱れはじめ、気泡の急成長によって液体は瞬時に分裂して飛散する。この現象を利用すれば良好な噴霧生成が期待されることから、減圧沸騰は最近の新しい液体微粒化法として注目されている。本研究では、減圧沸騰における気泡の生成と成長状態が液体流動や沸騰条件によって異なることに着目し、液体の分裂過程を系統的に調べて微粒化機構を解明するとともに、微粒化特性に及ぼす諸因子の影響を調べることを目的とする。

第 2 章 減圧沸騰の熱力学考察

熱エネルギーを利用した液体の微粒化はその分裂過程において、気相と液相が共存するいわゆる相変化をとまなう複雑な現象である。本章では液体分裂機構を支配する沸騰現象について、気泡核と過熱度、気泡成長速度などを論じ、さらに過熱度を与える条件を初期圧力と減圧速度について考察している。

第 3 章 減圧沸騰による固体面上の液体の分裂

減圧時の過渡的な沸騰現象と液体の分裂過程との関係を明らかにするために、固体面上におか

れた過熱液滴を高圧から大気圧までに急速減圧した場合の減圧沸騰をとり上げ、過熱度、圧力、減圧速度を変化させて実験を行った。実験装置の概略を図1に示す。液体は加熱容器①で加熱された後、ノズル②から高圧テスト容器③のガラス製円柱④の端面上で一滴をつくる。

液体温度は熱電対⑤で測定し、初期液滴温度 T_i とする。圧力はブルドン管で測定し、初期圧力 P_g [Gauge] とする。減圧は電磁弁⑫によって行ない、管路の途中に取付けた絞り弁⑭の開度を変えることによって、減圧時間 t_s (減圧開始から液体の初期温度に対する飽和圧力まで圧力が下がった時までの時間) を可変にする。

図2に高速撮影による過熱液滴の分裂過程を示す。減圧開始後、約9msで固液界面に初気泡の発生が見られる。この時間を初気泡発生時間 t_i とする。その後、次第に気泡の発泡点が増し、同時に個々の気泡は成長して、30ms

後には液滴の自由表面に小さな乱れが生じてくるが、この時間を変形開始時間 t_d とする。この小さな乱れは、主に発泡点の増加および気泡の成長によるものである。減圧開始後42msになると液滴の表面から分裂がはじまる。この時間を分裂開始時間 t_b とする。その後、液滴は飛散しながらさらに沸騰を続け分裂していく。図3に T_i と t_b との関係を示す。 T_i が高くなるに従い t_b は短くなるが、これは温度の増加とともに発泡点および気泡成長

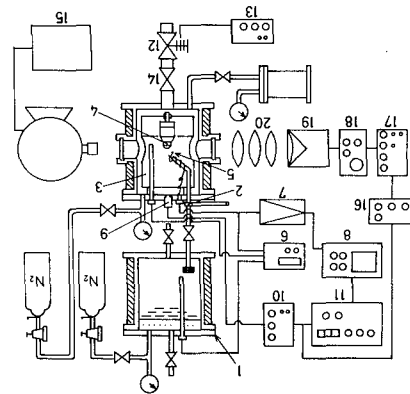


図1 実験装置

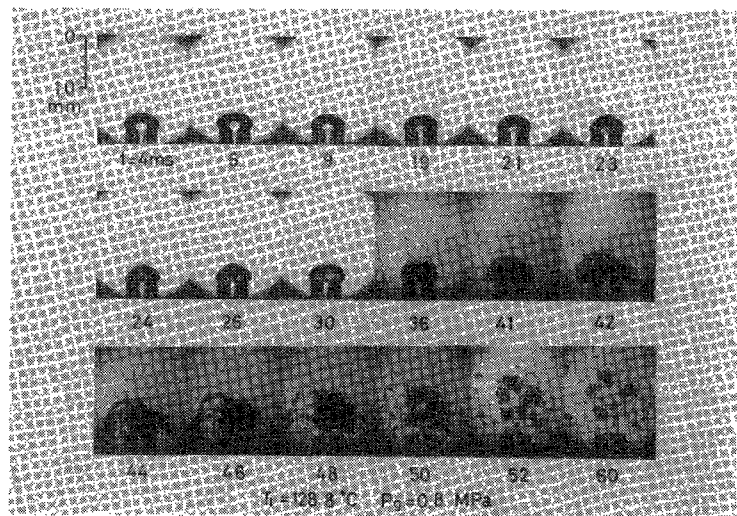


図2 過熱液滴の分裂過程

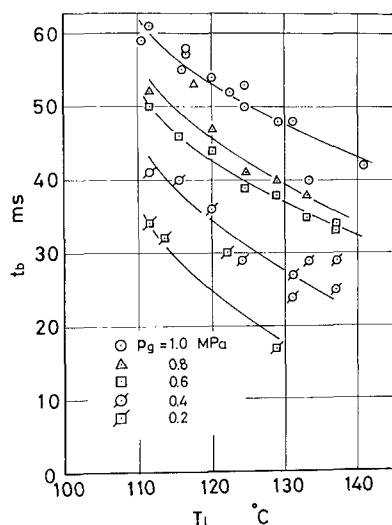


図3 分裂開始時間

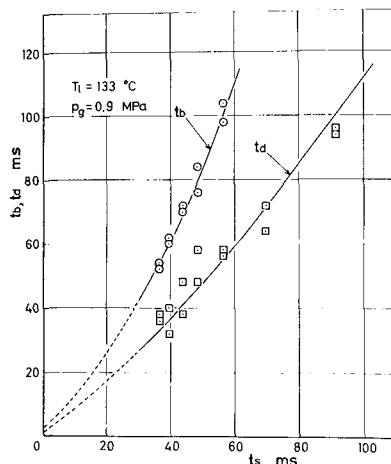


図4 減圧時間の影響

速度が増すからである。図4に変形および分裂開始時間に及ぼす減圧時間の影響を示す。 t_s が短いほど t_a および t_b は短くなり、 t_a と t_b の時間差がなくなるが、 t_s が長くなるに従いその差は顕著になる。図5に条件を種々に変えて行った実験の写真観察から得られた4つのタイプの固体面上の過熱液滴の分裂機構を示す。

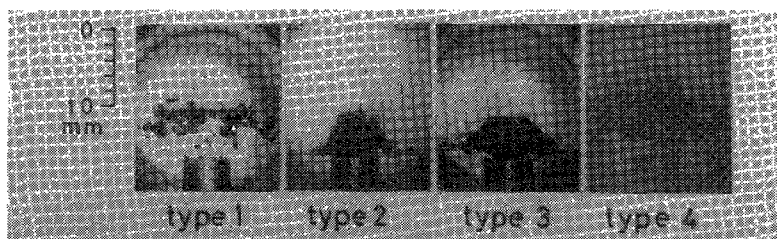


図5 過熱液滴の分裂機構

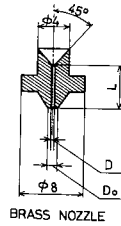
- type 1 ; 気泡の急成長による爆発的な分裂
- type 2 ; 液滴の自由表面からの連続的な微小発泡による分裂
- type 3 ; 固液界面で発達した蒸気流による分裂
- type 4 ; 大きく成長した気泡の自爆による分裂

第4章 単孔ノズルによる噴流の分裂

本章では、実際の燃焼機器などに使用可能な噴射弁設計に必要なデータを得ることを目的として表1に示すような簡単な単孔ノズルを設計、製作し、高温液体を高圧領域から大気中に噴出した減圧沸騰をとり上げ、その沸騰現象、気泡生成機構および分裂機構を調べた。図6、7にそれぞれA-3.8、12.7ノズルの液体温度による分裂模様の変化を示す。A-3.8の場合は液体の温度が高くなるにつれて気泡の破壊頻度が増し、160℃付近からは気泡がほぼ連続的に破壊するよ

うになり、液体はノズル近くで瞬時に分裂して安定な噴霧が得られる。このようにノズル長さが短い場合には、ノズル内部で生成した気泡が成長しきれず、柱状に噴出した後に急成長して分裂する。このような分裂を柱状流噴出型とよぶ。A-12.7においては T_t が低い場合でも比較的安定した微粒化が進行する。これはノズル内部で気泡の成長が行なわれ、十分に発達した気泡流の状態で噴出し、気泡の急成長および周囲空気との衝突によって分裂する。このような分裂を気泡流噴出型とよぶ。以上に述べた2つの分裂模様は、

同一ノズルでも与えられた条件、つまり過熱度、圧力、ノズル径および長さによって柱状流噴出型にも気泡流噴出型にもなる。図8に遷移領域で現われる分裂模様を、図9にその領域を示す。実験点と飽和蒸気圧線の間が気泡流噴出型であり、実験点の下領域では柱状流噴出型である。ノズル長さが長くなるに従い、気泡流噴出型領域が広がることがわかる。図10にA型ノズルについて、ノズル長さ L と分裂長さ Z_b との関係を示す。 T_t が高く、 L が長くなるに従い、 Z_b は短くなることわかる。また $L > 3.5 \text{ mm}$ になる



	D_o mm	D_{mm}	L mm	L/D
A-1.8		0.503	0.92	1.84
A-2.6	1.160	0.508	1.31	2.57
A-3.8	0.928	0.505	1.90	3.77
A-4.4	0.858	0.512	2.26	4.41
A-5.1	0.706	0.507	2.58	5.09
A-5.9	0.778	0.502	2.95	5.88
A-7.8	0.911	0.505	3.93	7.78
A-10.6	0.860	0.511	5.03	10.63
A-12.7	0.711	0.500	6.33	12.65
B-10.6	1.477	0.610	6.52	10.68
C-10.6	0.950	0.710	7.56	10.65
D-10.6	1.583	0.796	8.42	10.58
E-10.6	2.230	1.128	11.98	10.62
F-10.6	1.963	1.354	14.34	10.59

表1 ノズルの仕様

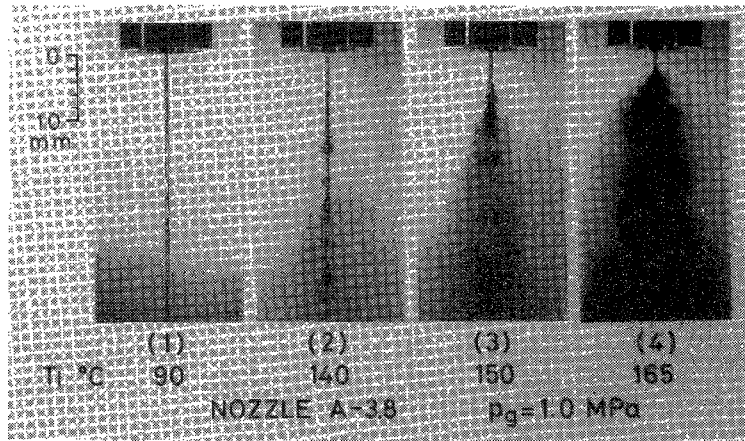


図6 分裂模様・柱状流噴出型

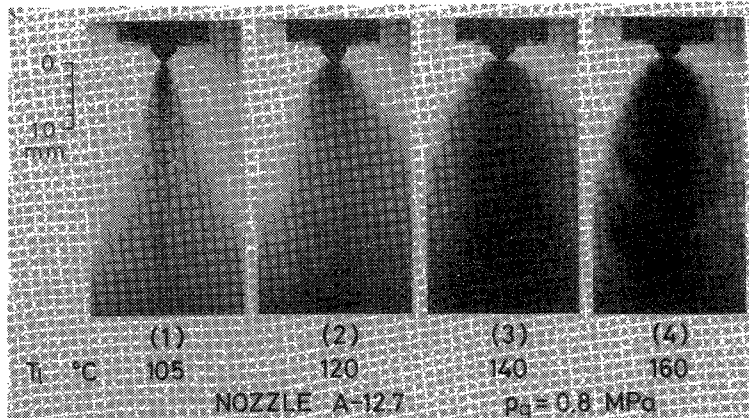


図7 分裂模様－気泡流噴出型

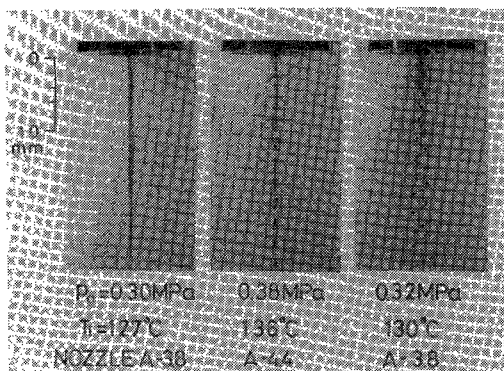


図8 遷移領域の分裂模様

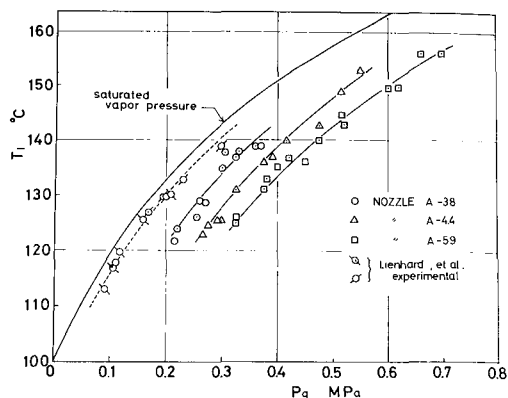


図9 遷移領域

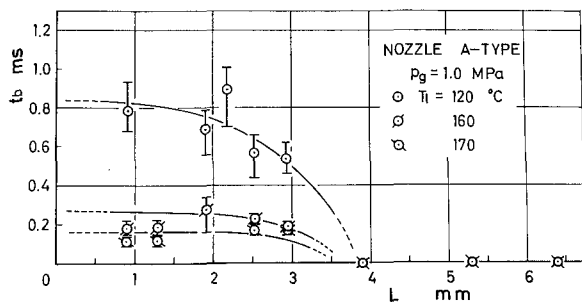


図10 分裂長さ

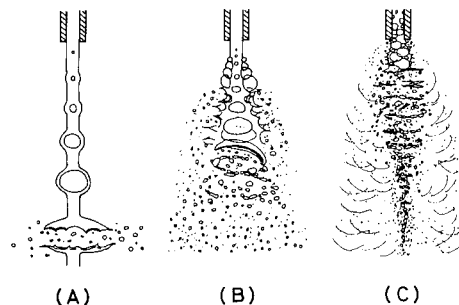


図11 過熱液噴流の分裂機構

とノズル内部で気泡が成長し、気泡流噴出型になるために液柱はみられない。図11に過熱液を高圧領域から大気中に噴出した実験で得られた3つのタイプの分裂機構を示す。図から分裂機構は気泡生成機構に支配されることがわかる。

第5章 過熱液柱中の気泡の挙動

液体が過熱状態であれば周囲の液体から熱を吸収し、液体の表面張力に支配されながら気泡が生成し、その核生成に引きつづいて気泡は成長する。これは過熱液噴流においても同様である。本章では液柱中で生成した気泡の成長速度を調べ従来の研究と比較、検討した。図12に気泡成長における本実験結果と Rayleigh¹ Plesset と Zwick² の理論および Hooper ら³ の実験結果との比較を示す。気泡生成の遅れ時間を考慮すると Rayleigh の理論とよく一致することがわかる。つぎに液柱の分裂時間 t_b に対する Lienhard⁴ らの分裂モデルは、本論文での観察結果から最も妥当なものと思われたが、図13でわかるように、特に低過熱度で本論文の結果と大きくく違っている。これはノズル形状および気泡核生成時間の評価の違いであると考えられる。

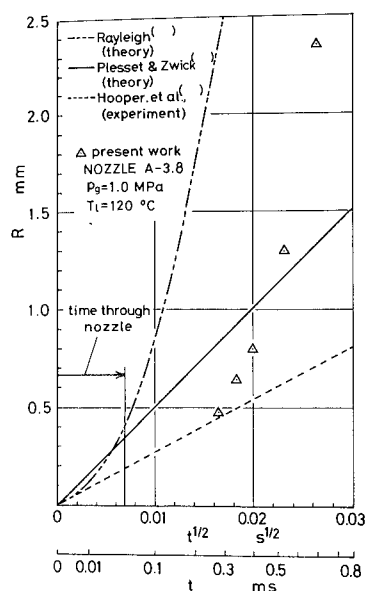


図12 気泡成長速度

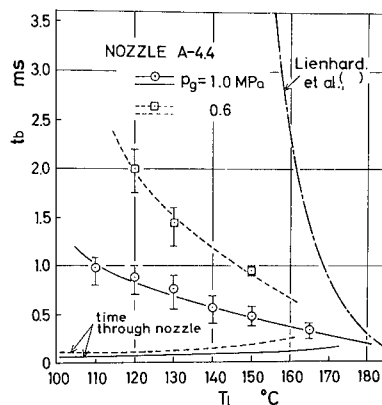


図13 液柱の分裂時間

第6章 減圧沸騰による噴流の微粒化特性

ここでは単孔ノズルを用いた減圧沸騰による液体の微粒化特性を調べた。図14, 15にそれぞれ A-2.6, A-10.6 ノズルの平均粒径と温度の関係を示す。いずれの場合でも温度が高く、噴射圧が低くなるに従い、平均粒径が小さくなることがわかった。図16, 17にそれぞれ A-1.8,

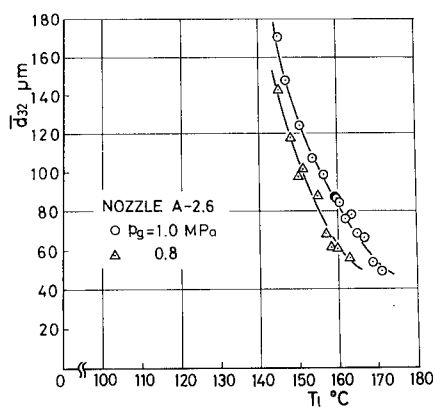


図14 平均粒径(1)

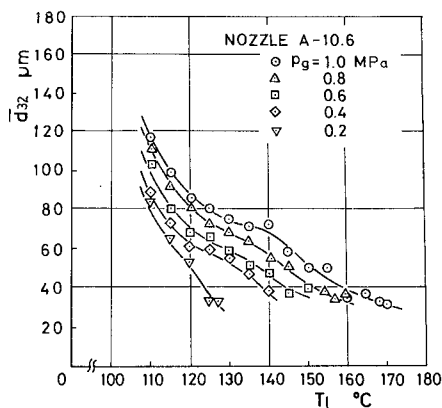


図15 平均粒径(2)

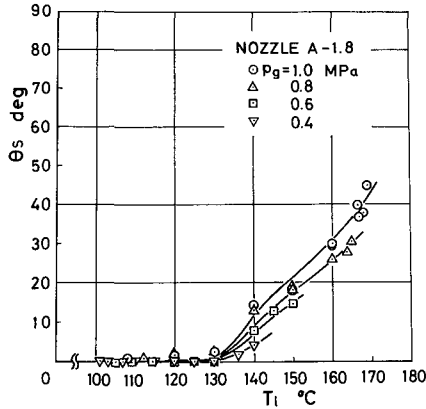


図16 噴霧角 (1)

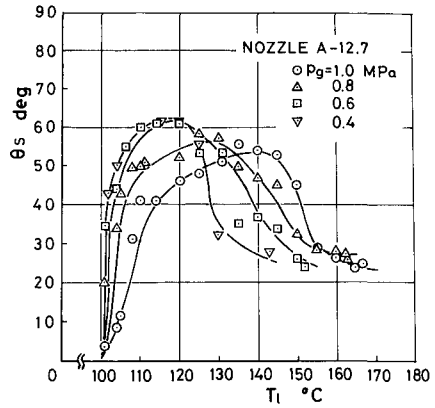


図17 噴霧角 (2)

A 12.7 ノズルの T_i に対する噴霧角の変化を示す。A-1.8では T_i の増加とともに噴霧角の増大が見られるが、A-12.7の場合は $T_i = 100^\circ\text{C}$ から噴霧角が急激に増大しある温度で最大値に達した後、減少することがわかる。つぎに柱状流および気泡流噴出型の分散量分布を図18, 19にそれぞれを示す。A-10.6の場合はAbramovichの理論⁵とよく一致するが、A-1.8 ノズルでは、 T_i が高くなるにつれて、同一 r/r_L でも $q/q_{c,\max}$ が大きくなるのがわかる。

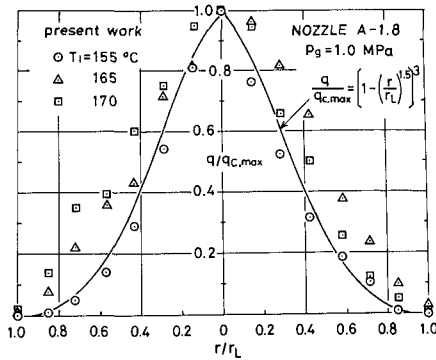


図18 分散量 (1)

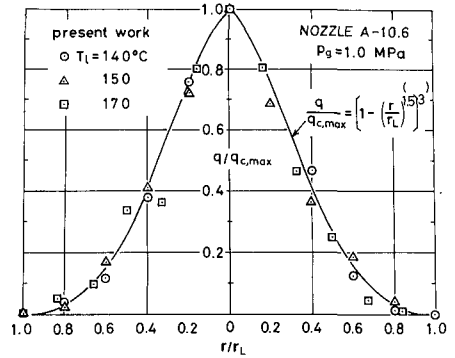


図19 分散量 (2)

第7章 結 論

減圧沸騰による液体の微粒化について、実験を行ない、過熱液滴の分裂機構および単孔ノズルによる過熱液噴出時の気泡生成機構、分裂機構および微粒化特性を明らかにした。

(参 考 文 献)

- (1) Rayleigh; Philos. Mag., 34 (1917). 94.
- (2) Plesset, M. S and S. A Zwick; J. Appl. Phys 25. (1954). 493.

- (3) Hopper, E. C and Abdelmessih, A. H ; Proc, 3rd Int. Heat. Trans. Conf. 4
(1966) 44.
- (4) Lienhard, J. M. and Day, J. B. ; Trans, ASME Ser D. 92-3 (1970-9), 515.
- (5) Abramovich, G. N ; Theory of Turbulent Jets MIT Press (1963).

審 査 結 果 の 要 旨

高温液体の圧力をその温度の飽和蒸気圧以下に急速に減圧すると、過熱状態となった液体内部で爆発的な沸騰が起こり、液体は瞬時に分裂して飛散する。この現象を利用すれば良好な噴霧生成が期待されることから、減圧沸騰は最近の新しい液体微粒化法として注目されている。本論文は減圧沸騰における気泡の生成と成長状態が液体流動や沸騰条件によって異なることに着目し、液体の分裂過程を系統的に調べて微粒化機構を解明するとともに、微粒化特性に及ぼす諸因子の影響について実験した研究成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。第2章では、沸騰と気泡成長について論じ、過熱度を与える条件を初期圧力と減圧速度について考察している。

第3章は、固体面上に過熱液滴において、高圧から大気圧まで急速減圧したときの液体の分裂現象について述べている。すなわち、沸騰は固体面上で始まり、急激な気泡成長に伴って液体内部および表面近くでも沸騰が開始されること、液体の変形および分裂開始時間は初期圧力には無関係に過熱度と減圧速度に依存することなどを明らかにして、液体分裂を4形態に分類している。これは、高速噴流の沸騰微粒化機構を解明する上で重要な知見である。

第4章では、単孔ノズルを用いて過熱噴流の微粒化を行った結果、微粒化現象を柱状流噴出形と気泡流噴出形に大別してそれぞれの特徴を説明し、液体内部、ノズル壁面上および噴流表面における気泡生成によって微粒化機構が支配されることを述べ、種々の条件に対して噴流の分裂長さを求めている。

第5章では、噴流中の単一気泡の成長速度を測定して従来の理論や実験結果と比較し、高過熱度領域では主として気泡内飽和蒸気圧と雰囲気圧力との差圧を駆動力とする急速気泡成長の傾向がみられることを明らかにしている。

第6章は単孔ノズルの微流化特性について述べている。沸騰微粒化では一般に比較的広噴霧角で平均粒径の小さい噴霧が生成され、噴霧特性に対する過熱度の影響が顕著に現われること、過熱度に対する平均粒径の変化にはノズル内の気泡成長に対応して2つの異なる傾向がみられることなどを示して、実用アトマイザの設計に資する有用な結果を得ている。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は減圧沸騰による液体微粒化について研究を行い、沸騰と微粒化機構との関係を明らかにするとともに、アトマイザ設計に必要な基礎資料を得たもので、精密工学ならびに噴霧工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。